



⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑯ Offenlegungsschrift
⑯ DE 197 26 058 A 1

⑯ Int. Cl. 8:
G 03 F 7/20
G 02 B 17/08
G 02 B 13/24
G 02 B 13/14

DE 197 26 058 A 1

⑯ Aktenzeichen: 197 26 058.6
⑯ Anmeldetag: 19. 6. 97
⑯ Offenlegungstag: 2. 1. 98

⑯ Unionspriorität:
8-180013 20.06.96 JP

⑯ Erfinder:
Omura, Yasuhiro, Tokio/Tokyo, JP

⑯ Anmelder:
Nikon Corp., Tokio/Tokyo, JP

⑯ Vertreter:
BOEHMERT & BOEHMERT, 28209 Bremen

⑯ Katadioptrisches System zur Photolithographie

⑯ Die gegenwärtige Erfindung betrifft ein katadioptrisches System zur Photolithographie, das, der Reihe nach von der Objektseite zur Bildseite, ein erstes Abbildungssystem, umfassend einen konkaven Spiegel, und ein zweites Abbildungssystem umfaßt. Das erste Abbildungssystem bildet ein Zwischenbild eines Objekts ab, und das zweite Abbildungssystem bildet das Zwischenbild auf einem Substrat wieder ab. Ein Flußseparator, umfassend einen ebenen Spiegel, ist nahe dem Zwischenbild angeordnet, um Lichtflüsse, auftreffend auf den konkaven Spiegel und von demselben reflektiert, zu separieren. Die Linsenelemente des erfindungsmaßen katadioptrischen Systems sind vorzugsweise aus Quarzglas und/oder Fluorit hergestellt. Ferner erfüllen die katadioptrischen Systeme folgende Ungleichungen:

$$0,75 < |\beta_1| < 0,95$$

$$0,13 < L_1/L_{CM} < 0,35 ,$$

wobei β_1 eine Vergrößerung des ersten Abbildungssystems, L_1 ein axieller Abstand zwischen dem Objekt und einem Schnittpunkt der optischen Achse des ersten Abbildungssystems mit der optischen Achse des zweiten Abbildungssystems und L_{CM} ein axieller Abstand zwischen dem konkaven Spiegel und dem Objekt ist.

DE 197 26 058 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein katadioptrisches System zur Photolithographie.

5 In photolithographischen Prozessen zur Herstellung von integrierten Schaltkreisen wird ein Bild einer Maske, enthaltend Schaltungsmuster, auf ein lichtempfindlich gemachtes Substrat projiziert. Integrierte Schaltkreise sind komplexer geworden, und Masken enthalten demgemäß Hochauflösungsmuster. Die Projektion solcher Hochauflösungsmuster von einer Maske auf eine Scheibe fordert ein Hochauflösungsprojektionssystem.

10 Hochauflösungsprojektionssysteme können durch Verwendung kurzwellenlängigen Lichts oder Erhöhen der numerischen Apertur (NA) des Projektionssystems erhalten werden. Projektionssysteme, die kurzwellenlängiges Licht verwenden, sind schwerer auszustalten als diejenigen, die längere Wellenlängen verwenden, da kurzwellenlängiges Licht von vielen optischen Materialien absorbiert wird, was den Bereich von verwendbaren optischen Materialien einschränkt. Bei Wellenlängen von weniger als 300 nm sind, beispielsweise, die einzigen praktisch verwendbaren optischen Materialien Quarzglas und Fluorit. Unvorteilhafterweise sind die Abbe-Zahlen von Quarzglas und Fluorit nicht ausreichend unterschiedlich, um eine Korrektur einer chromatischen Aberration zu ermöglichen. Daher weisen herkömmliche, refraktive, optische Systeme für Wellenlängen von weniger als 300 nm eine chromatische Aberration auf.

15 Da reflektierende Systeme typischerweise keine chromatische Aberration aufweisen, sind verschiedene Typen von katadioptrischen Optiksystem, kombinierend reflektierende Flächen (Spiegel) und refraktive Elemente (Linsen), für kurzwellenlängige Photolithographie vorgeschlagen worden. In den japanischen Patentdokumenten 63-1 63 319, 7-1 11 512 und 5-25 170 und dem U.S. Patent 4 799 966 sind, beispielhaft, katadioptrische Systeme beschrieben. Die in diesen Referenzen offenbarten katadioptrischen Systeme bilden ein einziges Zwischenbild.

20 Im allgemeinen verwendet ein katadioptrisches System, das ein axiales Bild bildet, einen Strahlaufteiler. Jedoch, in einem katadioptrischen System, verwendet einen Strahlaufteiler, produzieren Reflexionen von der Scheibe und von refraktiven Oberflächen des optischen Systems, angeordnet auf der Bildseite des Strahlaufteilers, Streulicht, das einen Bildkontrast auf der Scheibe reduziert. Eine hohe numerische Apertur fordert einen großen Strahlaufteiler, was den Herstellungsdurchfluß aufgrund der erhöhten Belichtungszeit, die notwendig ist, um Lichtverlust in dem Strahlaufteiler zu kompensieren, erniedrigt.

25 Herkömmliche Projektionssysteme, verwendet einen ablenkenden Strahlaufteiler, wie in dem japanischen Dokument 6-3 00 973 beschrieben, vermeidet diese Lichtverluste. Jedoch sind ablenkende Strahlaufteiler extrem schwer, für Projektionssystem mit hoher numerischer Apertur herzustellen. Zusätzlich verschlechtern ablenkende Strahlaufteiler die Bildauflösung aufgrund von strukturellen Nicht-Uniformitäten, enthaltend Variationen in der Absorption, der Phase, und die Abhängigkeit des Reflexionsvermögens sowohl von dem Einfallswinkel als auch dem Polarisationszustand des einfallenden Lichtflusses.

30 In herkömmlichen katadioptrischen System, die ein nicht-axiales Bild formen, wie Ringfeldsysteme, in denen ein nicht-axialer, ringförmiger Bereich der Maske beleuchtet und auch auf die Scheibe projiziert wird, ist kein Strahlaufteiler notwendig, und ein planarer Faltspiegel kann nahe an ein Zwischenbild angeordnet werden. In einem Schritt-und-Abtast-Photolithographiesystem, verwendet ein katadioptrisches Ringfeldsystem, wird, beispielsweise, die Scheibe mit den Mustern der Maske durch synchrones Bewegen der Maske und der Scheibe relativ zu dem katadioptrischen System beleuchtet.

35 Wenn mehrere Zwischenbilder in einem katadioptrischen Ringfeldsystem ausgebildet werden, muß das katadioptrische System lang sein. Wenn das katadioptrische System mehrfache, konkave Spiegel verwendet, ist die Beleuchtungsfläche der Scheibe weit von der Achse entfernt, und das katadioptrische System ist groß. Daher sind Ringfeldsysteme mit einem einzigen, konkaven Spiegel, die ein einziges Zwischenbild bilden, zu bevorzugen. Solche Systeme sind in dem japanischen Patentdokument 7-1 11 512 und dem U.S. Patent 4 779 966 beschrieben.

40 In dem katadioptrischen System von U.S. Patent 4 779 966 ist ein konkaver Spiegel auf der Bildseite eines Zwischenbildes angeordnet. Da das Zwischenbild verkleinert ist, ist die bildseitige, numerische Apertur größer als die objektseitige, numerische Apertur, was eine Herstellung eines ablenkenden Strahlaufteilers schwierig macht und das Erreichen einer hohen, bildseitigen, numerischen Apertur verhindert. Die Auflösung wird verschlechtert, und der konkave Spiegel muß groß sein.

45 Bei dem katadioptrischen System gemäß dem japanischen Patentdokument 7-1 11 512 bildet ein erstes, symmetrisches Abbildungssystem, enthaltend einen Konkavspiegel, ein Zwischenbild mit Einheitsvergrößerung. Diese Konfiguration reduziert Aberrationen in dem ersten Abbildungssystem. Als ein Resultat wird die komplette Vergrößerung des katadioptrischen Systems durch ein zweites Abbildungssystem bestimmt. Das zweite Abbildungssystem ist groß und komplex, wobei solch ein System insbesondere eine große numerische Apertur aufweist. Ferner wird das Zwischenbild nahe dem Objekt ausgebildet, so daß der Arbeitsabstand klein ist, wenn nicht ein Polarisationsstrahlaufteiler oder ein ähnlicher Strahlaufteiler verwendet wird.

50 Aufgabe der gegenwärtigen Erfindung ist, ein katadioptrisches System zu liefern, das die Nachteile des Stands der Technik überwindet, d. h. einen großen Arbeitsabstand bereitstellt, Hochauflösungsbilder ausbildet, und geeignet zur Verwendung mit kurzwellenlängigem Licht ist.

55 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein katadioptrisches System nach Anspruch 1 bzw. ein Projektionssystem nach Anspruch 13 gelöst. Die Ansprüche 2 bis 12 bzw. 14 bis 17 beschreiben bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung.

60 Bevorzugte Ausführungsformen eines katadioptrischen Systems nach der Erfindung umfassen ein erstes Abbildungssystem und ein zweites Abbildungssystem. Das erste Abbildungssystem umfaßt einen konkaven Spiegel. Das erste Abbildungssystem empfängt einen Lichtfluß von einem Objekt und bildet ein Zwischenbild des Objekts. Das zweite Abbildungssystem bildet das Zwischenbild dann wieder ab und bildet ein verkleinertes Bild des Objekts.

Bevorzugte Ausführungsformen eines katadioptrischen Systems gemäß der gegenwärtigen Erfindung umfassen ferner einen Flußseparator, der die Lichtflüsse aufteilt, die auf den konkaven Spiegel auftreffen und von demselben reflektiert werden. Der Flußseparator ist nahe dem Zwischenbild angeordnet. Der Flußseparator lenkt dadurch entweder den Lichtfluß von dem Objekt zu dem konkaven Spiegel oder den Lichtfluß, der von dem konkaven Spiegel reflektiert wird, zu dem zweiten Abbildungssystem. Der Flußseparator umfaßt eine planare Reflexionsfläche. 5

Bei einige Ausführungsformen umfaßt das erste Abbildungssystem ferner, auf der Objektseite oder der Bildseite, eine Linsengruppe mit Einrichtungsdurchlauf und eine Linsengruppe mit Zweirichtungsdurchlauf. Die Linsengruppe mit Einrichtungsdurchlauf empfängt den Lichtfluß von dem Objekt, transmittiert den Lichtfluß zu der Linsengruppe mit Zweirichtungsdurchlauf und zu dem konkaven Spiegel. Der konkave Spiegel reflektiert den Lichtfluß zurück durch die optische Gruppe mit Zweirichtungsdurchlauf und bildet das Zwischenbild. 10

Das katadioptrische System erfüllt vorzugsweise verschiedene Bedingungen. Mit einer Vergrößerung β_1 des ersten Abbildungssystems, einem axialen Abstand L_1 zwischen dem Objekt und einem Schnittpunkt der Achsen des ersten Abbildungssystems S_1 und des zweiten Abbildungssystems sowie einem axialen Abstand L_{CM} zwischen dem Objekt und dem konkaven Spiegel erfüllt das katadioptrische System vorzugsweise die folgenden 15 Ungleichungen:

$$0,75 < |\beta_1| < 0,95 \\ 0,13 < |L_1/L_{CM}| < 0,35$$

Die Linsengruppe mit Zweirichtungsdurchlauf umfaßt vorzugsweise zumindest zwei refraktive Elemente mit unterschiedlichen negativen Stärken und zwei refraktive Elemente mit unterschiedlichen positiven Stärken. Die Linsengruppe mit Einrichtungsdurchlauf umfaßt vorzugsweise drei refraktive Elemente mit unterschiedlichen Stärken. 20

Das zweite Abbildungssystem kann, von der Objektseite zur Bildseite, eine dritte Linsengruppe mit einer positiven Stärke und eine vierte Linsengruppe mit einer positiven Stärke umfassen. Das zweite Abbildungssystem kann ferner einen Spiegel umfassen, der den Lichtfluß von der dritten Linsengruppe empfängt und denselben zu der vierten Linsengruppe führt. Der Spiegel und der Flußseparator sind vorzugsweise so angeordnet, daß das Bild in einer Ebene parallel zu dem Objekt angeordnet ist. 25

Vorzugsweise sind die refraktiven Elemente des katadioptrischen Systems aus Quarzglas und Fluorit hergestellt. Die Linsengruppe mit Zweirichtungsdurchlauf umfaßt vorzugsweise eine positive Linse aus Fluorit und erfüllt vorzugsweise folgende Ungleichung: 30

$$0,5 < |\Phi_C/\Phi_M| < 1,6$$

wobei Φ_C eine Summe der Stärken der positiven Linsen, hergestellt aus Fluorit, in der Linsengruppe mit Zweirichtungsdurchlauf und Φ_M einer Stärken des Konkavspiegels ist. 35

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, in der beispielhaft einige Ausführungsformen der Erfindung anhand von schematischen Zeichnungen erklärt sind, wobei: 40

Fig. 1 ein optisches Diagramm eines katadioptrischen Optiksystems gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung ist;

Fig. 2(a) und 2(b) Graphen von Queraberrationen der ersten Ausführungsform zeigen, wobei in Fig. 2(a) die Queraberrationen mit einer Bildhöhe von $Y = 18,6$ mm und in Fig. 2(b) Queraberrationen mit einer Bildhöhe von $Y = 5,0$ mm zeigt. 45

Fig. 3 ein optisches Diagramm eines katadioptrischen Optiksystems gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung ist;

Fig. 4(a) und 4(b) Graphen von Queraberrationen der zweiten Ausführungsform zeigen, wobei in Fig. 4(a) die Queraberrationen mit einer Bildhöhe von $Y = 18,6$ mm und in Fig. 4(b) Queraberrationen mit einer Bildhöhe von $Y = 5,0$ mm zeigt. 50

Zur Erleichterung der Beschreibung der Ausführungsformen ist die optische Achse als eine Linie oder miteinander verbundene Serien von Liniensegmenten durch einen Krümmungsmittelpunkt einer reflektierenden oder refraktierenden Fläche dargestellt. Wie gut bekannt, haben optische Systeme mit geneigten, reflektierenden Flächen optische Achsen, bestehend aus verbundenen Liniensegmenten. Richtungen entlang einer optischen Achse auf ein Objekt oder ein Bild zu werden "objektseitig" bzw. "bildseitig" genannt. 55

Bevorzugte Ausführungsformen eines katadioptrischen Systems gemäß der gegenwärtigen Erfindung umfassen, wie den Fig. 1 und 3, beispielsweise, zu entnehmen ist, von der Objektseite zur Bildseite entlang einer Achse des katadioptrischen Systems, ein erstes Abbildungssystem S_1 mit einer Vergrößerung β_1 , das einen Lichtfluß von einem Objekt M empfängt und ein Zwischenbild des Objekts M ausbildet, und ein zweites Abbildungssystem S_2 , das das Zwischenbild wieder abbildet und ein verkleinertes Bild des Objekts M auf einem Substrat W ausbildet. Das Objekt M ist im allgemeinen eine Maske und das Substrat W eine Scheibe. 60

Das erste Abbildungssystem S_1 umfaßt ferner, von der Objektseite zur Bildseite gesehen, eine Linsengruppe G_1 mit Einrichtungsdurchlauf, eine Linsengruppe G_2 mit Zweirichtungsdurchlauf und einen konkaven Spiegel CM . Die Linsengruppe G_1 mit Einrichtungsdurchlauf empfängt den Lichtfluß von dem Objekt M und transmittiert den Lichtfluß zu der Linsengruppe G_2 mit Zweirichtungsdurchlauf. Der Lichtfluß passiert durch die Linsengruppe G_2 mit Zweirichtungsdurchlauf zu dem Konkavspiegel CM . Der Konkavspiegel CM reflektiert den Lichtfluß zurück durch die Linsengruppe G_2 mit Zweirichtungsdurchlauf, die das Zwischenbild bildet. 65

Eine bevorzugte Ausführungsform eines katadioptrischen Systems gemäß der gegenwärtigen Erfindung

umfaßt ferner einen Flußseparator M1, der die Lichtflüsse voneinander separiert, die auf die Linsengruppe G2 mit Zweirichtungsdurchlauf auftreffen und aus derselben austreten. Der Flußseparator M1 ist nahe dem Zwischenbild angeordnet. Der Flußseparator M1 führt somit entweder den Lichtfluß von der Linsengruppe G1 mit Einrichtungsdurchlauf zu der Linsengruppe G2 mit Zweirichtungsdurchlauf oder führt den Lichtfluß, der aus der Linsengruppe G2 mit Zweirichtungsdurchlauf austritt, nach Reflexion von dem Konkavspiegel CM zu dem zweiten Abbildungssystem S2. Der Flußseparator M1 umfaßt eine planare, reflektierende Fläche R1, angeordnet zwischen der Linsengruppe G1 mit Einrichtungsdurchlauf und der Linsengruppe G2 mit Zweirichtungsdurchlauf.

Das zweite Abbildungssystem S2 umfaßt, von der Objektseite zur Bildseite gesehen, eine dritte Linsengruppe G3 mit positiver Stärke und eine vierte Linsengruppe G4 mit positiver Stärke. Die dritte Linsengruppe G3 empfängt den Lichtfluß von der Linsengruppe G2 mit Zweirichtungsdurchlauf und transmittiert den Lichtfluß zu der vierten Linsengruppe G4. Die dritte Linsengruppe G3 dient primär als eine Feldlinsengruppe.

Die zweite Linsengruppe S2 kann ferner einen ebenen Spiegel M2 umfassen, angeordnet zwischen der dritten Linsengruppe G3 und der vierten Linsengruppe G4. Der ebene Spiegel M2 empfängt den Lichtfluß von der dritten Linsengruppe G3 und führt den Lichtfluß zu der vierten Linsengruppe G4. Der ebene Spiegel M2 und der Flußseparator M1 reflektieren den Lichtfluß so, daß das Objekt M und das Bild des Objekts M auf dem Substrat W in parallelen Ebenen sind. Dies ermöglicht dem Substrat W, in einer Ebene parallel zu dem Objekt M zu sein, was die Schritt-und-Abtast-Beleuchtung des Substrats W unter Verwendung des katadioptrischen Systems vereinfacht.

Die vierte Linsengruppe G4 korrigiert primär sphärische Aberrationen und ermöglicht somit eine hohe numerische Apertur mit hoher Auflösung.

Ein katadioptrisches System gemäß der Erfindung erfüllt vorzugsweise verschiedene Bedingungen. Mit einer Vergrößerung β_1 des ersten Abbildungssystems S1, einem axialen Abstand L_1 zwischen dem Objekt und einem Schnittpunkt einer Achse des ersten Abbildungssystems S1 und einer Achse des zweiten Abbildungssystems S2 sowie einem axialen Abstand L_{CM} zwischen dem Objekt und dem konkaven Spiegel CM erfüllt das katadioptrische System vorzugsweise folgende Ungleichungen:

$$0,75 < |\beta_1| < 0,95 \quad (1)$$

$$0,13 < |L_1/L_{CM}| < 0,35. \quad (2)$$

Die Ungleichung 1 spezifiziert einen Bereich für die Vergrößerung β_1 des ersten Abbildungssystems S1. Wenn der untere Grenzwert der Ungleichung 1 verletzt wird, dann ist die numerische Apertur des Zwischenbilds groß und einer Ablenkung durch den Flußseparator M1 wird schwer. Wenn der obere Grenzwert der Ungleichung 1 überschritten wird, ist die Vergrößerung β_1 des ersten Abbildungssystems S1 zu nahe dem Einheitswert, wodurch die Stärke erhöht wird, die von dem zweiten Abbildungssystem S2 benötigt wird. Wenn die Stärke des zweiten Abbildungssystems S2 zu groß ist, dann ist es schwer, eine hohe numerische Apertur zu erhalten, und das Abbildungssystem S2 muß groß und komplex sein. Der obere und untere Grenzwert der Ungleichung 1 betragen am bevorzugtesten 0,8 bzw. 0,9.

Die Ungleichung 2 spezifiziert eine Beziehung zwischen dem Objekt M und dem zweiten Abbildungssystem S2. Wenn der untere Grenzwert der Ungleichung 2 verletzt wird, dann ist der Abstand von der Fläche des zweiten Abbildungssystems S2, die am nächsten dem Objekt M angeordnet ist, und dem Substrat W (d. h. der "Arbeitsabstand") zu kurz, was das katadioptrische System dazu bringt, nicht in Schritt-und-Abtast-Projektionsystemen verwendbar zu sein. Wenn der obere Grenzwert der Ungleichung 2 überschritten wird, dann sind Koma und Distorsion schwer zufriedenstellend zu steuern. Der untere Grenzwert und der obere Grenzwerte der Ungleichung 2 betragen am bevorzugtesten 0,19 bzw. 0,3.

Die zweite Linsengruppe G2 umfaßt vorzugsweise zwei Linsenelemente mit unterschiedlichen negativen Stärken und zwei Linsenelemente mit unterschiedlichen positiven Stärken. Während negative Linsen eine Korrektur von Koma, sphärischer Aberration und Feldkrümmung erleichtern, sind positive Linsen notwendig, um eine hohe numerische Apertur zu erhalten und einen ausreichend großen Beleuchtungsbereich abzudecken, während Kompaktheit aufrecht erhalten wird. Um Aberrationen des zweiten Abbildungssystems S2 einfach und ausreichend zu korrigieren, umfaßt das zweite Abbildungssystem S2 zumindest zwei negative Linsen mit unterschiedlichen Stärken und zumindest zwei positive Linsen mit unterschiedlichen Stärken.

Die Linsengruppe G1 mit Einrichtungsdurchlauf umfaßt vorzugsweise drei Linsenelemente mit unterschiedlichen Stärken.

Katadioptrische Hochauflösungssysteme müssen strikte Durchführungsforderungen erfüllen, enthaltend Forderungen für die Distorsionskorrektur und die Feldkrümmung. Um solche Forderungen zu erfüllen, werden die katadioptrischen System häufig während der Herstellung einjustiert, um Aberrationen zu reduzieren. Im allgemeinen sind Linsen, die nahe an einem Objekt angeordnet sind, geeigneter zum Entfernen von Aberrationen. Die Linsengruppe G2 mit Zweirichtungsdurchlauf ist normalerweise nicht ausreichend zur Durchführung einer Aberrationskorrektur. Die Linsengruppe G1 mit Einrichtungsdurchlauf dient als eine Aberrationskorrekturlinse, die eine Korrektur der Distorsion und der Feldkrümmung während der Herstellung ermöglicht und zusätzlich einen langen Arbeitsabstand liefert. Solch ein katadioptrisches System ist einfach in Schritt-und-Abtast-Projektionssystemen verwendbar.

Die vierte Linsengruppe G4 kann ferner eine variable Apertur AS zum Steuern eines Koherenzfaktors σ enthalten. Das japanische Patentdokument 62-50811 offenbart, beispielsweise, eine Phasenverschiebungsmethode, die die Auflösung und die Tiefe des Fokus durch Verschieben der Phasen eines Teils der Maske relativ zu einer anderen Teil verbessert. Da das katadioptrische System dieser Erfindung einer variable Apertur enthalten kann,

kann der Kohärenzfaktor σ gesteuert werden, was diese katadioptrischen Systeme verwendbar für Phasenverschiebungsmethoden macht.

Bei den katadioptrischen Systemen der Erfindung sind die Elemente der Linsengruppe vorzugsweise aus Quarzglas oder Fluorit hergestellt, wenn die katadioptrischen Systeme mit Wellenlängen von weniger als 5 mm verwendet werden sollen.

Die zweite Linsengruppe G2 umfaßt ferner vorzugsweise eine positive Linse, die aus Fluorit ausgebildet ist und vorzugsweise folgende Ungleichung 3 erfüllt:

$$0.5 < |\Phi_C/\Phi_m| < 1.6, \quad (3)$$

wobei Φ_C die Summe der Stärken der positiven Linsen, hergestellt aus Fluorit, in der Linsengruppe G2 mit Zweirichtungsdurchlauf und Φ_m eine Stärke des konkaven Spiegels CM ist.

Durch Bereitstellen der Linsengruppe G2 mit Zweirichtungsdurchlauf und einer positiven Linse aus Fluorit kann die chromatische Aberration in dem Lichtfluß, auftreffend auf den konkaven Spiegel CM, und die chromatische Aberration an dem Eingang des katadioptrischen Systems korrigiert werden. Wenn die Ungleichung 3 nicht erfüllt wird, dann wird die chromatische Aberration nicht zufriedenstellend korrigiert.

Bereitstellen einer Vergrößerung mit dem ersten Abbildungssystem S1 macht das zweite Abbildungssystem S2 einfacher, was eine hohe numerische Apertur ermöglicht, während das zweite Abbildungssystem S2 einfach und kompakt bleibt.

Ausführungsbeispiel 1

Ein katadioptrisches System gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in Fig. 1 gezeigt. Das erste Abbildungssystem S1 umfaßt, von der Objektseite zu der Bildseite, die Linsengruppe G1 mit Einrichtungsdurchlauf, die Linsengruppe G2 mit Zweirichtungsdurchlauf und den konkaven Spiegel CM. Die Linsengruppe G1 mit Einrichtungsdurchlauf umfaßt, von der Objektseite zur Bildseite entlang einer Achse, eine negative Meniskuslinse L11 mit einer konvexen Fläche 1, die der Objektseite zugewandt ist, eine bikonvexe Linse L12, eine bikonkave Linse L13 und eine positive Meniskuslinse L14 mit einer konvexen Fläche 7, die der Objektseite zugewandt ist. Die Linsengruppe G2 mit Zweirichtungsdurchlauf umfaßt, von der Objektseite zur Bildseite, eine bikonvexe Linse L21, eine negative Meniskuslinse L22 mit einer konkaven Fläche 13, die der Objektseite zugewandt ist, eine bikonvexe Linse L23, eine negative Meniskuslinse L24 mit einer konvexen Fläche 17, die der Objektseite zugewandt ist, eine bikonkave Linse L25, eine bikonvexe Linse L26, eine positive Meniskuslinse L27 mit einer konvexen Fläche 23, die der Objektseite zugewandt ist, eine konvexe Linse L28, eine negative Meniskuslinse L29 mit einer konvexen Fläche 27, die der Objektseite zugewandt ist, und eine bikonkave Linse L29.

Der Flüßseparator M1 ist zwischen der Linsengruppe G1 mit Einrichtungsdurchlauf und der zweiten Linsengruppe G2 angeordnet. Der Lichtfluß, der von der Linsengruppe G1 mit Einrichtungsdurchlauf in Richtung der Linsengruppe G2 mit Zweirichtungsdurchlauf und dem konkaven Spiegel CM fortschreitet, wird von einem planparallelen Bereich PP1 des Flüßseparators M1 transmittiert; der Lichtfluß, der von dem konkaven Spiegel CM in Richtung der Linsengruppe G1 mit Einrichtungsdurchlauf zurückkehrt, wird von der reflektierenden Fläche R des Flüßseparators M1 zu dem zweiten Abbildungssystem S2 reflektiert. Es wird zu verstehen sein, daß der Flüßseparator M1 des Ausführungsbeispiels 1 alternativerweise so orientiert sein kann, daß Lichtfluß von der Linsengruppe G1 mit Einrichtungsdurchlauf zu der Linsengruppe G2 mit Zweirichtungsdurchlauf reflektiert wird, und daß Lichtfluß, reflektiert von dem konkaven Spiegel CM, in Richtung des zweiten Abbildungssystems S2 ohne Reflexion durch den Flüßseparator M1 propagieren kann.

Die dritte Linsengruppe G3 umfaßt, von der Objektseite zur Bildseite, eine bikonvexe Linse L31 und eine negative Meniskuslinse L32 mit einer konvexen Fläche 55, die zur Objektseite gewandt ist. Die vierte Linsengruppe G4 umfaßt, von der Objektseite zur Bildseite, eine positive Meniskuslinse L41 mit einer konvexen Fläche 58, die der Objektseite zugewandt ist, eine bikonvexe Linse L42, eine Apertur AS, eine bikonvexe Linse L43, eine positive Meniskuslinse L44 mit einer konvexen Fläche 65, die der Objektseite zugewandt ist, eine bikonkave Linse L45, eine positive Meniskuslinse L46 mit einer konvexen Fläche 69, die der Objektseite zugewandt ist, eine negative Meniskuslinse L47 mit einer konvexen Fläche 71, die der Objektseite zugewandt ist, und eine bikonvexe Linse L48.

Ein ebener Spiegel M2 ist zwischen der dritten Linsengruppe G3 und der vierten Linsengruppe G4 angeordnet. Der ebene Spiegel M2 führt den Lichtfluß, der aus der dritten Linsengruppe G3 austritt, zu der vierten Linsengruppe G4.

Tabelle 1 enthält Spezifikationen für das Ausführungsbeispiel 1. In Tabelle 1 steht β für eine Verkleinerung des katadioptrischen Systems, NA; eine bildseitige, numerische Apertur und d , einen axialen Abstand zwischen dem Objekt und der Fläche des katadioptrischen Systems, die am weitesten auf der Objektseite angeordnet ist. Die erste Spalte listet Oberflächen auf, durchnumbert in einer Reihenfolge von der Objektseite zur Bildseite entlang einer Achse, entlang der der Lichtfluß von dem Objekt fortschreitet; die zweite Spalte, mit "r" betitelt, listet entsprechende Krümmungsradii der Linsenfläche auf; die dritte Spalte, mit "d" betitelt, listet axiale Separationen zwischen benachbarten Flächen auf; die vierte Spalte, mit "n" betitelt, listet die Brechungsindizes der entsprechenden Linsenelemente auf; und die vierte Spalte, mit "Gruppe" betitelt, liefert die Linsengruppenzahl, in der das jeweilige, entsprechende optische Element angeordnet ist.

Eine Vorzeichenkonvention für den Krümmungsradius r ist verwendet, gemäß der zwischen dem Objekt und dem konkaven Spiegel CM der Krümmungsradius r für eine konvexe Fläche, die der Objektseite zugewandt ist, positiv ist. Zwischen dem ersten ebenen Spiegel M1 und dem zweiten ebenen Spiegel M2 ist der Krümmungsra-

5 dius r für eine konvexe Fläche, die dem ersten Spiegel M1 zugewandt ist (d. h. der Objektseite zugewandt ist) positiv. Zwischen dem zweiten ebenen Spiegel M2 und der Scheibe W ist der Krümmungsradius r für eine konvexe Fläche, die der Bildseite zugewandt ist, positiv. Die Oberflächenseparationen d sind negativ zwischen dem konkaven Spiegel CM und dem ersten, ebenen Spiegel M1 und zwischen dem zweiten ebenen Spiegel M2 und der Scheibe W. Ansonsten sind die Oberflächenseparationen d positiv.

10 In Tabelle 1 sind die Brechungsindizes "n" bei einer Wellenlänge von $\lambda = 193,4$ nm (ArF-Excimer-Wellenlänge) gegeben. Bei dem Ausführungsbeispiel 1 bestehen die optischen Materialien aus Quarzglas ($n = 1,56019$) und Fluorit ($n = 1,50138$).

15 Tabelle 1

(Ausführungsbeispiel 1)

20 Gesamtspezifikationen

f	-0,25
NA_i	0,60
d_0	49,998 mm

25 Oberflächenspezifikationen

	Oberflächen- nummer	r (mm)	d (mm)	n	Gruppe
30	1	369,115	18,000	1,56019	G1
	2	245,893	0,500		
	3	227,674	33,705	1,50138	G1
35	4	-373,082	18,803		
	5	-324,258	20,532	1,56019	G1
40	6	332,817	1,674		
	7	340,581	20,389	1,56019	G1
	8	604,750	27,395		
45	9	∞	35,000	1,56019	M1 (PP1)
	10	∞	16,943		
	11	391,176	30,000	1,50138	G2
50	12	-982,727	6,592		
	13	-417,793	20,000	1,56019	G2

55

60

65

DE 197 26 058 A1

Ober- flächen- nummer	r (mm)	d (mm)	n	Gruppe	
14	-1216,731	261,363			5
15	478,547	40,000	1,50138	G2	
16	-908,632	11,323			10
17	325,213	20,000	1,56019	G2	
18	208,331	48,917			
19	-196,257	20,000	1,56019	G2	15
20	1370,871	0,500			
21	430,209	42,793	1,50138	G2	
22	-366,694	61,625			20
23	247,465	5,000	1,56019	G2	
24	286,274	68,753			25
25	508,228	40,000	1,56019	G2	
26	-930,828	27,931			
27	-313,824	25,000	1,56019	G2	30
28	-1017,267	19,454			
29	-276,064	25,000	1,56019	G2	35
30	1335,454	32,821			
31	-360,416	-32,821		CM	
32	1335,454	-25,000	1,56019	G2	40
33	-276,064	-19,454			
34	-1017,267	-25,000	1,56019	G2	
35	-313,824	-27,93107			45
36	-930,828	-40,000	1,56019	G2	
37	508,228	-68,753			50
38	286,274	-25,000	1,56019	G2	
39	247,465	-61,625			
40	-366,694	-42,793	1,50138	G2	55
41	430,209	-0,500			
42	1370,871	-20,000	1,56019	G2	60

DE 197 26 058 A1

Ober- flächen- nummer	r (mm)	d (mm)	n	Gruppe
5	43	-196,257	-48,917	
	44	208,331	-20,000	1,56019 G2
10	45	325,213	-11,323	
	46	-908,632	-40,000	1,50138 G2
	47	478,547	-261,353	
15	48	-1216,731	-20,000	1,56019 G2
	49	-417,793	-6,592	
	50	-982,727	-30,000	1,50138 G2
20	51	391,176	-1,943	
	52	∞	236,637	M1
25	53	471,443	36,090	1,50138 G3
	54	-1089,261	3,979	
	55	306,858	20,000	1,56019 G3
30	56	247,195	150,000	
	57	∞	-162,806	M2
	58	-812,165	-25,000	1,56019 G4
35	59	-2628,418	-290,508	
	60	-1094,809	-30,000	1,56019 G4
40	61	1598,936	-30,114	
	62	∞	-81,437	G4 (AS)
	63	-266,544	-45,218	1,50138 G4
45	64	2115,935	-0,550	
	65	-213,134	-30,096	1,56019 G4
50	66	-642,205	-15,142	
	67	1328,716	-30,000	1,56019 G4
	68	-654,044	-1,236	
55	69	-210,004	-45,167	1,56019 G4
	70	-304,557	-19,703	
	71	-166,497	-45,000	1,56019 G4

60

65

Oberflächennummer	r (mm)	d (mm)	n	Gruppe
72	-72,336	-6,218		
73	-71,786	-66,262	1,56019	G4
74	2042,086	-17,000		

5

10

15

Werte von Ungleichungen

β_1	-0,877207	
L_1	241 mm	20
L_{CH}	1070 mm	
ϕ_c	0,005850	
ϕ_m	0,005549	25
$ \beta_1 $	0,877207	
L_1/L_{CH}	0,225	30
$ \phi_c/\phi_m $	1,054228	

25

30

35

40

Fig. 2 (a) zeigt Graphen von Queraberrationen des Ausführungsbeispiels 1 für eine Bildhöhe von $Y = 18,6$ mm bei Wellenlängen von 193,0 nm, 193,2 nm, 193,4 nm, 193,6 nm bzw. 193,8 nm. Fig. 2(b) zeigt ähnliche Graphen für Queraberrationen für eine Bildhöhe von $Y = 5,0$ mm. Den Fig. 2(a) und 2(b) ist deutlich zu entnehmen, daß das katadioptrische System des Ausführungsbeispiels 1 eine exzellente Aberrationskorrektur aufweist, obwohl das katadioptrische System einen großen Arbeitsabstand und eine hohe numerische Apertur aufweist. Die chromatische Aberrationskorrektur in dem Wellenlängenband von 193,4 nm $\pm 0,4$ nm ist besonders gut.

Ausführungsbeispiel 2

Fig. 3 zeigt ein katadioptrisches System gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung. Die Linsengruppe G1 mit Einrichtungsdurchgang des ersten Abbildungssystems S1 umfaßt, von der Objektseite zur Bildseite, eine negative Meniskuslinse L11 mit einer konkaven Fläche 1, die der Objektseite zugewandt ist, eine bikonvexe Linse L12, eine bikonkav Linse L13 und eine positive Meniskuslinse L14 mit einer konvexen Fläche 7, die der Objektseite zugewandt ist. Die Linsengruppe G2 mit Zweirichtungsdurchlauf umfaßt, von der Objektseite zur Bildseite, eine bikonvexe Linse L21, eine negative Meniskuslinse L22 mit einer konkaven Fläche 13, die der Objektseite zugewandt ist, eine bikonvexe Linse L23, eine negative Meniskuslinse L24 mit einer konvexen Fläche 17, die der Objektseite zugewandt ist, eine bikonkav Linse L25, eine bikonvexe Linse L26, eine positive Meniskuslinse L27 mit einer konvexen Fläche 23, die der Objektseite zugewandt ist, eine bikonvexe Linse L28, eine negative Meniskuslinse L29 mit einer konkaven Fläche 27, die der Objektseite zugewandt, und eine negative Meniskuslinse L291 mit einer konkaven Fläche 29, die der Objektseite zugewandt ist.

45

50

55

Der Flußseparatot M1 ist zwischen der Linsengruppe G1 mit Einrichtungsdurchlauf und der zweiten Linsengruppe G2 angeordnet. Lichtfluß, der von der Linsengruppe G1 mit Einrichtungsdurchlauf in Richtung der Linsengruppe G2 mit Zweirichtungsdurchlauf und dem konkaven Spiegel CM forschreitet, wird durch einen planparallelen Bereich PP1 des Flußseparators M1 transmittiert; der Lichtfluß, der von dem konkaven Spiegel CM in Richtung der Linsengruppe G1 mit Einrichtungsdurchlauf zurückgeführt wird, wird von einer reflektierenden Fläche R des Flußseparators M1 zu dem zweiten Abbildungssystem S2 reflektiert. Es wird zu verstehen sein, daß der Flußseparatot M1 des Ausführungsbeispiels 2 alternativerweise so orientiert sein kann, daß Lichtfluß von der Linsengruppe G1 mit Einrichtungsdurchlauf zu der Linsengruppe mit Zweirichtungsdurchlauf reflektiert wird, und daß Lichtfluß, der von dem konkaven Spiegel CM reflektiert wird, in Richtung des zweiten Abbildungssystems S2 propagieren kann, ohne Reflexion durch den Flußseparatot M1.

60

Die dritte Linsengruppe G3 umfaßt, von der Objektseite zur Bildseite, eine bikonvexe Linse L31 und eine negative Meniskuslinse L32 mit einer konkaven Fläche 55, die der Objektseite zugewandt ist. Die vierte Linsengruppe G4 umfaßt, von der Objektseite zur Bildseite, eine positive Meniskuslinse L41 mit einer konvexen Fläche 58, die der Objektseite zugewandt ist, eine positive Meniskuslinse L42 mit einer konkaven Fläche 60, die

65

der Objektseite zugewandt ist, einen Aperturstopp AS, eine bikonvexe Linse L43, eine positive Meniskuslinse L44 mit einer konvexen Fläche 65, die der Objektseite zugewandt ist, eine bikonkave Linse L45, eine positive Meniskuslinse L46 mit einer konvexen Fläche 69, die der Objektseite zugewandt ist, eine negative Meniskuslinse L47 mit einer konvexen Fläche 71, die der Objektseite zugewandt ist, und eine bikonvexe Linse L48.

5 Der ebene Spiegel M2 ist zwischen der dritten Linsengruppe G3 und der vierten Linsengruppe G4 angeordnet.

Tabelle 2 enthält Spezifikationen für das katadioptrische System des Ausführungsbeispiels 2. Die Definition der Variablen, der Flächennumerierung und der Vorzeichenkonventionen sind gleich denjenigen, die im Zusammenhang mit Tabelle 1 beschrieben worden sind. Wie im Falle des Ausführungsbeispiels 1 verwendet das

10 katadioptrische System des Ausführungsbeispiels 2 Quarzglas und Fluorit.

Das katadioptrische System des Ausführungsbeispiels 2 hat eine asphärische Fläche 31 und eine asphärische Fläche 63. Eine asphärische Fläche ist im allgemeinen durch einen Abstand ("Durchhang") von einem Punkt auf der Fläche zu einer Tangentiallinie der Fläche an einem Schnittpunkt zwischen der Achse und der Fläche, gemessen parallel zu der Achse der Fläche, spezifiziert. Der Durchhang einer Fläche in einem Abstand y von der

15 Achse der Fläche, $S(y)$, ist durch eine Standardformel gemäß Gleichung 1 gegeben, wobei r ein Krümmungsradius der Fläche, κ eine Kegelschnittkonstante und C_n der n th asphärische Koeffizient ist.

$$20 S(y) = \frac{y^2}{r [1 + \sqrt{1 - (1+\kappa)y^2/r^2}]} \quad (1)$$

$$+ C_4y^4 + C_6y^6 + C_8y^8 + C_{10}y^{10} + C_{12}y^{12}$$

25 In Tabelle 2 sind asphärische Flächen mit einem gekennzeichnet.

30

35

40

45

50

55

60

65

DE 197 26 058 A1

Tabelle 2
(Ausführungsbeispiel 2)

Gesamtspezifikationen

β -0,25
 NA_i 0,60
 d_0 45,000 mm

Oberflächenspezifikationen

Oberflächen- nummer	r (mm)	d (mm)	n	Gruppe
1	281,775	18,000	1,56019	G1
2	195,859	1,598		
3	196,715	40,418	1,50138	G1
4	-480,361	14,536		
5	-548,718	20,000	1,56019	G1
6	204,428	5,448		
7	203,274	20,000	1,56019	G1
8	401,273	25,000		
9	∞	35,000	1,56019	M1 (PP1)
10	∞	15,500		
11	303,555	30,000	1,50138	G2
12	-1740,057	5,924		
13	-425,354	20,000	1,56019	G2

	Oberflächen- nummer	r (mm)	d (mm)	n	Gruppe
5	14	-2761,815	171,793		
	15	300,937	40,000	1,50138	G2
	16	-2581,928	1,849		
10	17	288,864	20,000	1,56019	G2
	18	177,975	57,224		
15	19	-175,888	20,000	1,56019	G2
	20	764,840	0,500		
	21	342,881	36,406	1,50138	G2
20	22	-329,279	48,341		
	23	270,936	25,000	1,56019	G2
	24	328,277	66,732		
25	25	778,307	40,000	1,56019	G2
	26	-518,576	15,753		
30	27	-223,579	25,000	1,56019	G2
	28	-658,513	42,435		
	29	-229,025	25,000	1,56019	G2
35	30	-1514,955	17,542		
	31*	-332,936	-17,542		CM
40	32	-1514,955	-25,000	1,56019	G2
	33	-229,025	-42,435		
	34	-658,513	-25,000	1,56019	G2
45	35	-223,579	-15,753		
	36	-518,576	-40,000	1,56019	G2
	37	778,307	-66,732		
50	38	328,277	-25,000	1,56019	G2
	39	270,936	-48,341		
	40	-329,279	-36,406	1,50138	G2
55	41	342,881	-0,500		
	42	764,840	-20,000	1,56019	G2
60					

DE 197 26 058 A1

Oberflächen- nummer	r (mm)	d (mm)	n	Gruppe	
43	-175,888	-57,224			5
44	177,975	-20,000	1,56019	G2	
45	288,864	-1,849			
46	-2581,928	-40,000	1,50138	G2	10
47	300,937	-171,793			
48	-2761,815	-20,000	1,56019	G2	15
49	-425,354	-5,924			
50	-1740,057	-30,000	1,50138	G2	
51	303,555	-0,500			20
52	∞	233,000		M1	
53	415,207	31,117	1,50138	G3	
54	-631,341	0,500			25
55	306,049	20,000	1,56019	G3	
56	218,635	150,000			30
57	∞	-165,240		M2	
58	-711,482	-25,000	1,56019	G4	
59	-2123,013	-302,795			35
60	3482,765	-30,000	1,56019	G4	
61	654,764	-15,000			40
62	∞	-59,904		G4 (AS)	
63*	-230,331	-70,000	1,50138	G4	
64	1603,607	-0,500			45
65	-204,918	-28,538	1,56019	G4	
66	-602,518	-14,615			
67	1240,449	-30,000	1,56019	G4	50
68	-510,567	-0,500			
69	-308,492	-70,000	1,56019	G4	55
70	-714,386	-0,500			
71	-170,397	-45,000	1,56019	G4	
					60

65

Oberflächen- nummer	r (mm)	d (mm)	n	Gruppe
5	72	-62,983	-4,156	
	73	-63,147	-62,343	1,56019 G4
10	74	766,887	-17,000	

Daten der asphärischen Fläche

15 Die Kegelschnittkonstante $\kappa=0$ sowohl für die asphärische Fläche 31 als auch für die asphärische Fläche 63.

Asphärische Konstanten

	Oberfläche 31	Oberfläche 63
25	C_4 $0,815186 \times 10^{-9}$	$0,371510 \times 10^{-8}$
30	C_6 $0,106110 \times 10^{-13}$	$0,507303 \times 10^{-13}$
	C_8 $0,216157 \times 10^{-18}$	$0,416256 \times 10^{-18}$
35	C_{10} $-0,473987 \times 10^{-23}$	$0,261764 \times 10^{-22}$
	C_{12} $0,490366 \times 10^{-27}$	$-0,397276 \times 10^{-27}$

Werte von Ungleichungen

45	β_1	-0,854038
	L_1	240 mm
	L_M	950 mm
50	ϕ_c	0,006712
	ϕ_a	0,006006
	$ \beta_1 $	0,854038
55	L_1/L_M	0,253
	$ \phi_c/\phi_a $	1,17626

60 Fig. 4 (a) zeigt Graphen von Queraberrationen des Ausführungsbeispiels 2 für eine Bildhöhe $Y = 18,6$ mm bei Wellenlängen von 193,0 nm, 193,2 nm, 193,4 nm, 193,6 nm bzw. 193,8 nm. Fig. 4(b) zeigt ähnliche Graphen der Queraberrationen für eine Bildhöhe von $Y = 5,0$ mm. Wie den Fig. 4(a) und 4(b) deutlich zu entnehmen ist, zeigt das katadioptrische System des Ausführungsbeispiels 2 exzellente Aberrationenkorrektur, obwohl das katadioptrische System einen großen Arbeitsabstand und eine hohe numerische Apertur aufweist. Die chromatische Aberrationskorrektur in dem Wellenlängenband $193,4 \text{ nm} \pm 0,4 \text{ nm}$ ist besonders gut.

65 Die in der vorstehenden Beschreibung, in den Zeichnungen sowie in den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Verwirklichung der Erfindung

in ihren verschiedenen Ausführungsformen wesentlich sein.

Patentansprüche

1. Katadioptrisches System zur Photolithographie zwecks Projizierens eines Bildes eines Objekts (M) auf ein Substrat (W), wobei das System von der Objektseite zur Bildseite, folgendes umfaßt: 5

(a) ein erstes Abbildungssystem (S1), das eine optische Achse aufweist, einen konkaven Spiegel (CM) umfaßt und eine Vergrößerung β_1 liefert, wobei ein Lichtfluß von dem Objekt (M) von dem ersten Abbildungssystem (S1) empfangen und von dem konkaven Spiegel (CM) reflektiert wird, um ein Zwischenbild zu bilden; 10

(b) ein zweites Abbildungssystem (S2), das eine optische Achse aufweist, den Lichtfluß von dem Zwischenbild empfängt und ein verkleinertes Bild des Objekts (M) auf dem Substrat (W) ausbildet; und (c) einen Flußseparator (M1), angeordnet in der Nähe des Zwischenbildes, wobei der Flußseparator (M1) entweder den Lichtfluß von dem Objekt (M) zu dem konkaven Spiegel (CM) führt, oder den Lichtfluß, reflektiert von dem konkaven Spiegel (CM), zu dem zweiten Abbildungssystem (S2) führt; 15

wobei

(d) das katadioptrische System folgende Ungleichungen erfüllt:

$$0.75 < |\beta_1| < 0.95$$

$$0.13 < L_1/L_{CM} < 0.35$$

20

wobei L_1 ein axialer Abstand zwischen dem Objekt (M) und einem Schnittpunkt der optischen Achse des ersten Abbildungssystems (S1) mit der optischen Achse des zweiten Abbildungssystems (S2) und L_{CM} ein axialer Abstand zwischen dem konkaven Spiegel (CM) und dem Objekt < M) ist.

2. Katadioptrisches System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß

25

das erste Abbildungssystem (S1) ferner, von der Objektseite zur Bildseite, eine Linsengruppe (G1) mit Einrichtungsdurchlauf und eine Linsengruppe (G2) mit Zweirichtungsdurchlauf umfaßt, wobei die Linsengruppe (G1) mit Einrichtungsdurchlauf den Lichtfluß von dem Objekt (M) empfängt; und das Zwischenbild des Objekts (M) zwischen der Linsengruppe (G1) mit Einrichtungsdurchlauf und der Linsengruppe (G2) mit Zweirichtungsdurchlauf ausgebildet ist, nachdem der Lichtfluß von dem Objekt (M) über den konkaven Spiegel (CM) durch die Linsengruppe (G2) mit Zweirichtungsdurchlauf reflektiert worden ist. 30

30

3. Katadioptrisches System nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Linsengruppe (G2) mit Zweirichtungsdurchlauf ferner zwei Linsenelemente mit unterschiedlichen, negativen Stärken umfaßt.

35

4. Katadioptrisches System nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Linsengruppe (G2) mit Zweirichtungsdurchlauf zwei Linsenelemente mit unterschiedlichen, positiven Stärken umfaßt.

35

5. Katadioptrisches System nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Linsengruppe (G1) mit Einrichtungsdurchlauf drei Linsenelemente mit unterschiedlichen Stärken umfaßt.

40

6. Katadioptrisches System nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Abbildungssystem (S2), von der Objektseite zur Bildseite, eine dritte Linsengruppe (G3) mit positiver Stärke und eine vierte Linsengruppe (G4) mit positiver Stärke umfaßt, wobei die dritte Linsengruppe (G3) den Lichtfluß von dem ersten Abbildungssystem (S1) empfängt und den Lichtfluß zu der vierten Linsengruppe (G4) führt, um ein verkleinertes Bild des Objekts (M) zu bilden.

40

7. Katadioptrisches System nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Abbildungssystem (S2) ferner eine planare, reflektierende Fläche (M2) umfaßt, die den Lichtfluß von der dritten Linsengruppe (G3) zu der vierten Linsengruppe (G4) führt.

45

8. Katadioptrisches System nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Abbildungssystem (S1) und das zweite Abbildungssystem (S2) Linsenelemente umfassen, die aus Quarzglas und/oder Fluorit ausgebildet sind.

50

9. Katadioptrisches System nach einem der Ansprüche 2 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Linsengruppe (G2) mit Zweirichtungsdurchlauf eine positive Fluoritlinse umfaßt, wobei das katadioptrische System folgende Ungleichung erfüllt:

50

$$0.5 < |\Phi_c/\Phi_m| < 1.6$$

55

wobei Φ_c eine Summe der refraktiven Stärken der positiven Fluoritlinsen der Linsengruppe (G2) mit Zweirichtungsdurchlauf und Φ_m eine Stärke des konkaven Spiegels (CM) ist.

10. Katadioptrisches System nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der konkave Spiegel (CM) eine asphärische Fläche (31) aufweist.

60

11. Katadioptrisches System nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Abbildungssystem (S2) eine asphärische Fläche (63) umfaßt.

60

12. Katadioptrisches System nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß:

(a) das erste Abbildungssystem (S1) eine Linsengruppe (G1) mit Einrichtungsdurchlauf, umfassend drei Linsenelemente mit unterschiedlichen Stärken, einen asphärischen, konkaven Spiegel (CM) mit einer Stärke Φ_M , und eine Linsengruppe (G2) mit Zweirichtungsdurchlauf, umfassend zwei Linsenelemente mit unterschiedlichen, negativen Stärken, ein erstes, positives Fluoritlinsenelement und ein zweites, positives Linsenelement mit einer Stärke, die sich von der Stärke des ersten, positiven Linsenelements unterscheidet, umfaßt, wobei die Linsengruppe (G1) mit Einrichtungsdurchlauf den Lichtfluß von dem

65

5 Objekt (M) empfängt und den Lichtfluß zu der Linsengruppe (G2) mit Zweirichtungsdurchlauf und dem konkaven Spiegel (CM) transmittiert, von dem der Lichtfluß durch die Linsengruppe (G2) mit Zweirichtungsdurchlauf zurückreflektiert wird, um ein Zwischenbild des Objekts (M) zu bilden;

10 (b) das zweite Abbildungssystem (S2), dessen optische Achse die optische Achse des ersten Abbildungssystems (S1) schneidet, eine dritte Linsengruppe (G3) mit positiver Stärke, eine ebene reflektierende Fläche (M2) und eine vierte Linsengruppe (G4) mit positiver Stärke und eine asphärische Fläche (63) umfaßt, wobei das zweite Abbildungssystem (S2) den Lichtfluß von dem Zwischenbild empfängt und ein verkleinertes Bild des Objekts (M) auf dem Substrat (W) ausbildet, wobei das Objekt (M) und das Bild des Objekts (M) auf dem Substrat (W) in parallelen Ebenen liegen;

15 (c) der Flußseparator (M1) zwischen der Linsengruppe (G1) mit Einrichtungsdurchlauf und der Linsengruppe (G2) mit Zweirichtungsdurchlauf in der Nähe des Zwischenbildes angeordnet ist und dazu dient, den Lichtfluß, der von dem konkaven Spiegel (CM) reflektiert wird, durch die Linsengruppe (G2) mit Zweirichtungsdurchlauf zu dem zweiten Abbildungssystem (S2) zu führen; und

20 (d) das katadioptrische System zusätzlich folgende Ungleichung erfüllt:

$$15 \quad 0,5 < |\Phi_c/\Phi_m| < 1,6$$

wobei Φ_c eine Summe der refraktiven Stärken der positiven Fluoritlinsen der Linsengruppe (G2) mit Zweirichtungsdurchlauf ist.

25 13. Projektionssystem zum Projizieren eines Bildes eines Objekts (M) auf ein Substrat (W), wobei das Projektionssystem ein katadioptrisches System, insbesondere nach einem der vorangehenden Ansprüche, zum Empfangen eines Lichtflusses von dem Objekt (M) und zum Transmittieren des Lichtflusses umfaßt, so daß ein Bild des Objekts (M) auf das Substrat (W) projiziert wird, wobei das katadioptrische System, von der Objektseite zur Bildseite, Folgendes umfaßt:

30 (a) ein erstes Abbildungssystem (S1), aufweisend eine optische Achse, umfassend einen konkaven Spiegel (CM) und liefernd eine Vergrößerung β_1 , wobei das erste Abbildungssystem (S1) den Lichtfluß von dem Objekt (M) zu dem konkaven Spiegel (CM) transmittiert, von dem der Lichtfluß so reflektiert wird, daß ein Zwischenbild des Objekts (M) ausgebildet wird;

35 (b) ein zweites Abbildungssystem (S2), aufweisend eine optische Achse und dazu dienend, den Lichtfluß von dem Zwischenbild aufzunehmen und ein Bild des Objekts (M) auf dem Substrat (W) auszubilden; und

(c) einen Flußseparator (M1), angeordnet in der Nähe des Zwischenbildes, wobei der Flußseparator (M1) entweder den Lichtfluß zu dem konkaven Spiegel (CM) führt, oder den Lichtfluß, reflektiert von dem konkaven Spiegel (CM), zu dem zweiten Abbildungssystem (S2) führt; wobei

40 (d) das katadioptrische System folgende Ungleichungen erfüllt:

$$0,75 < |\beta_1| < 0,95$$

$$0,13 < L_1/L_{CM} < 0,35$$

45 wobei L_1 der Axialabstand zwischen dem Objekt (M) und einem Schnittpunkt der optischen Achse des ersten Abbildungssystems (S1) mit der optischen Achse des zweiten Abbildungssystems (S2) und L_{CM} ein Axialabstand zwischen dem konkaven Spiegel (CM) und dem Objekt (M) ist.

50 14. Projektionssystem nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Abbildungssystem (S1) ferner, von der Objektseite zur Bildseite, eine Linsengruppe (G1) mit Einrichtungsdurchlauf und eine Linsengruppe (G2) mit Zweirichtungsdurchlauf umfaßt, wobei die Linsengruppe (G1) mit Einrichtungsdurchlauf den Lichtfluß von dem Objekt (M) empfängt und das Zwischenbild des Objekts (M) zwischen der Linsengruppe (G1) mit Einrichtungsdurchlauf und der Linsengruppe (G2) mit Zweirichtungsdurchlauf ausgebildet wird, nachdem der Lichtfluß von dem Objekt (M) über den konkaven Spiegel (CM) durch die Linsengruppe (G2) mit Zweirichtungsdurchlauf reflektiert worden ist.

55 15. Projektionssystem nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Lichtfluß eine Wellenlänge von weniger als 300 nm aufweist.

16. Projektionssystem nach einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Abbildungssystem (S2) ferner eine Apertur (AS) aufweist.

17. Projektionssystem nach einem der Ansprüche 13 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Abbildungssystem (S2) ferner einen Spiegel (M2) umfaßt, und

60 das Objekt (M) und das Bild in parallelen Ebenen liegen.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

65

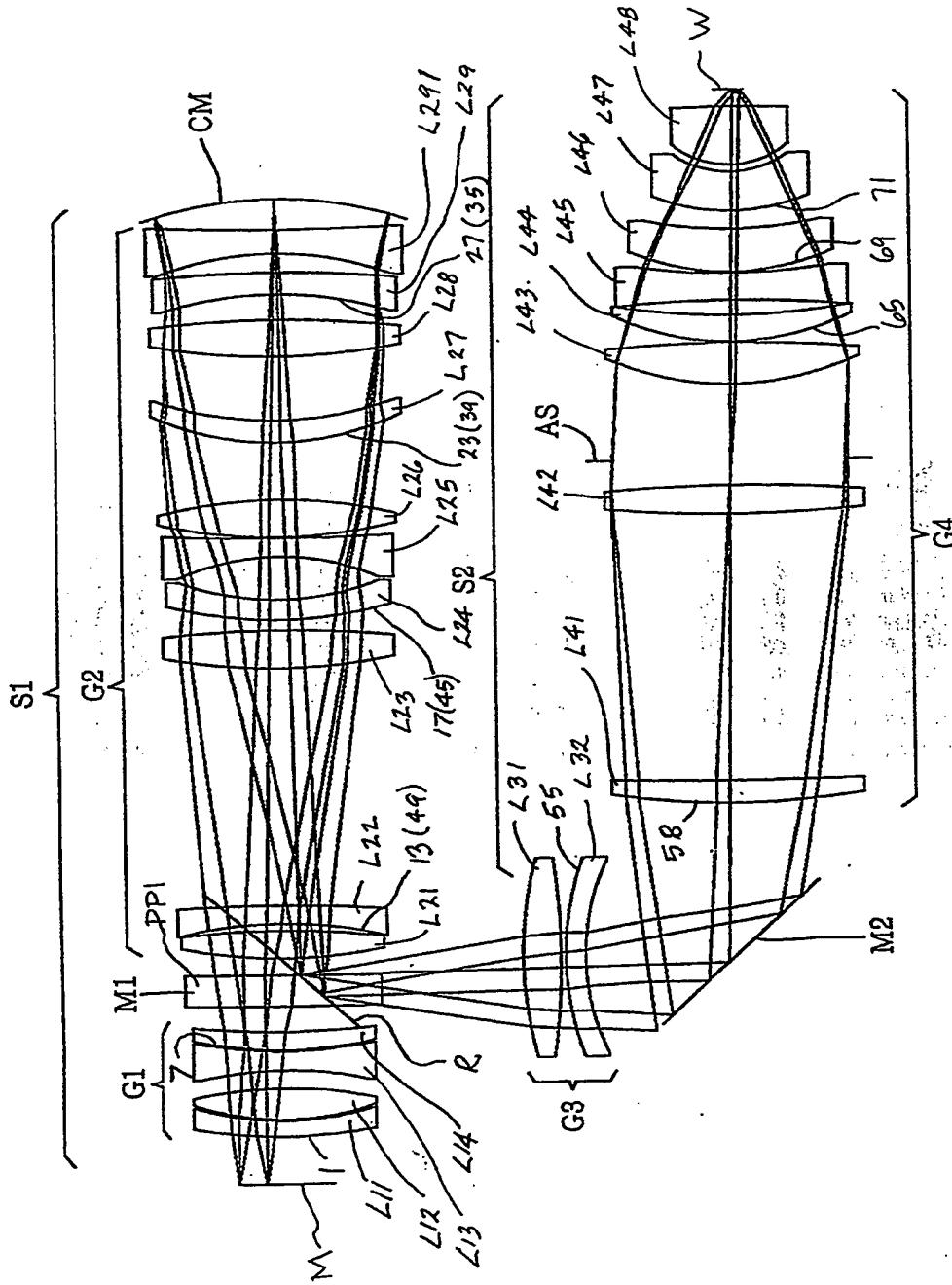


FIG. 1

Y = 18.6

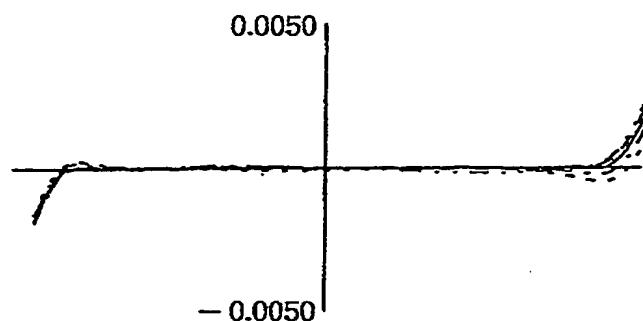


FIG. 2a

Y = 5.0

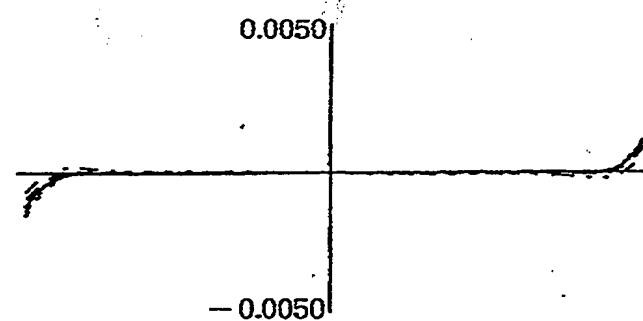


FIG. 2b

- 193.8nm
- 193.6nm
- ===== 193.4nm
- 193.2nm
- 193.0nm

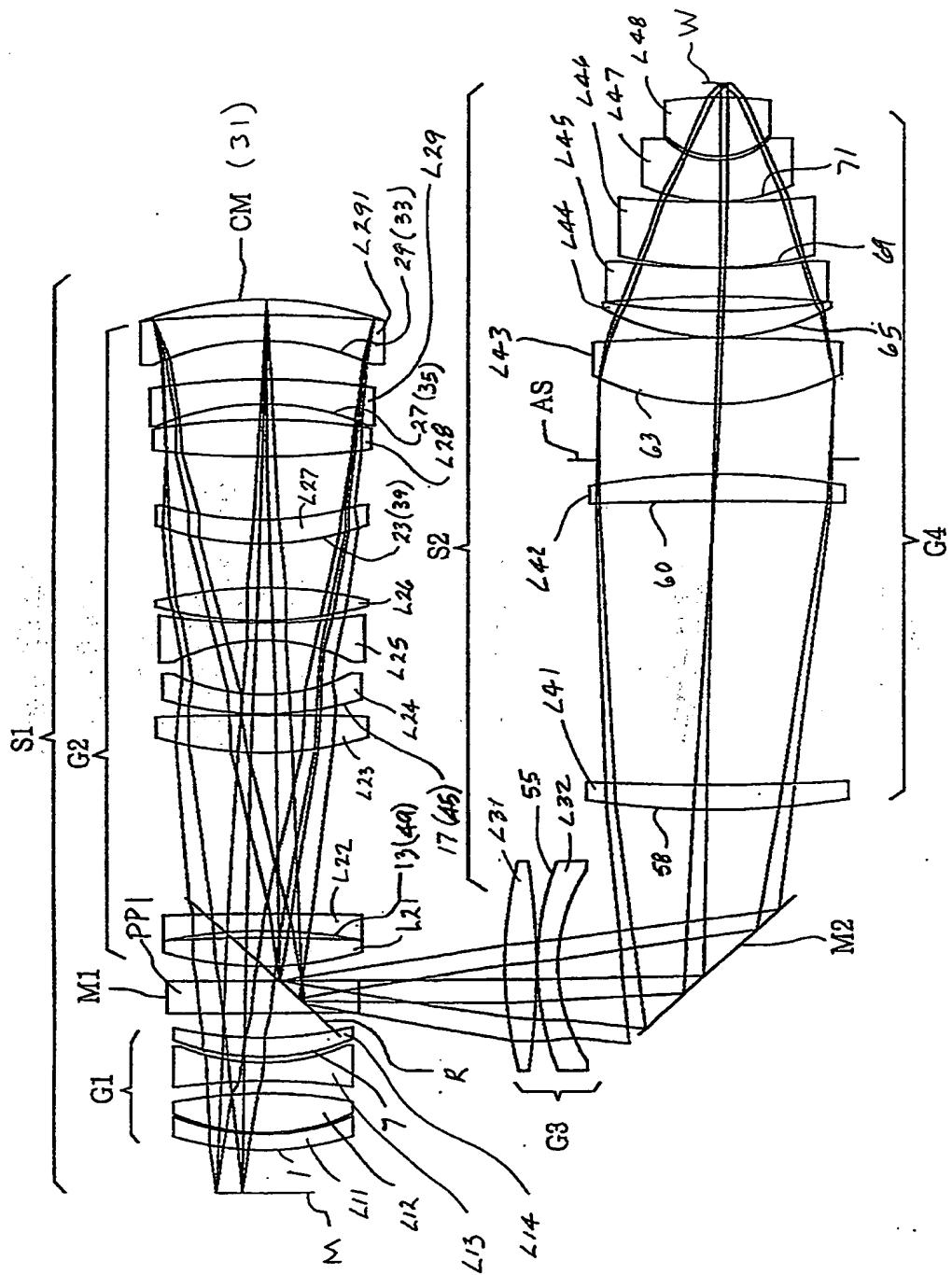


FIG. 3

Y = 18.6

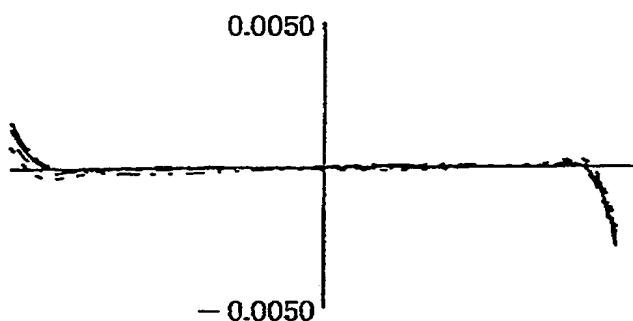


FIG. 4a

Y = 5.0

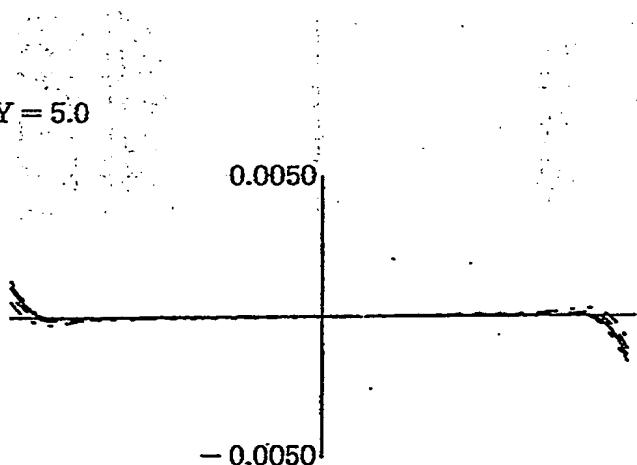


FIG. 4b

- 193.8nm
- 193.6nm
- 193.4nm
- 193.2nm
- 193.0nm